

Conocer Valladolid 2022

XV Curso de patrimonio cultural



REAL ACADEMIA DE
BELLAS ARTES DE LA
PURÍSIMA CONCEPCIÓN



Ayuntamiento de
Valladolid

ÍNDICE

I . VALLADOLID SUBTERRÁNEO

- Nuevas cábalas sobre la autoría del hallazgo de la Edad del Bronce realizado en 1832 en las obras del canal de Castilla a la altura de Cigales (Valladolid)** 13
GERMÁN DELIBES DE CASTRO | Académico
- La población neolítica del valle medio del Duero: resultados del estudio del osario del dolmen de Los Zumacales (Simancas, Valladolid)** 31
ANGÉLICA SANTA CRUZ DEL BARRIO | Universidades de Salamanca y Valladolid
- Hitos en la formación del patrimonio arqueológico vallisoletano** 55
ELOÍSA WATTENBERG GARCÍA | Académica

II. VALLADOLID. ARQUITECTURA Y URBANISMO

- El convento y la ciudad. Apuntes sobre una Valladolid escondida (entre muros y tapias)** 77
JUAN LUIS DE LAS RIVAS SANZ | Académico
- Herramientas para la intervención en el patrimonio arquitectónico. Tecnología aplicadas al análisis y diagnóstico** 93
DAVID MARCOS GONZÁLEZ - JESÚS I. SAN JOSÉ ALONSO | ETSA, UVa

III. VALLADOLID ARTÍSTICO

- El desaparecido convento de la Madre de Dios, de Valladolid** 117
M.^a ANTONIA FERNÁNDEZ DEL HOYO | Académica
- Juan José Martín González (1923-2009). En el centenario de su nacimiento . .** 157
JOSÉ CARLOS BRASAS EGIDO | Académico
- «Donum civitati». La colección del Museo Nacional de reproducciones artísticas del Museo Nacional de Escultura** 173
ALBERTO CAMPANO | Museo Nacional de Escultura

IV. VALLADOLID INTANGIBLE

- El cine en Valladolid: precedentes y publicidad** 201
JOAQUÍN DÍAZ | Académico
- San Francisco de San Miguel. Vida, martirio e iconografía** 225
ROBERTO BLANCO ANDRÉS | Doctor en Historia

Herramientas para la intervención en el patrimonio arquitectónico

Tecnologías aplicadas al análisis y diagnóstico

DAVID MARCOS GONZÁLEZ – JESÚS I. SAN JOSÉ ALONSO | ETSA de la UVa

La intervención en el patrimonio construido requiere la elaboración de trabajos previos con los que se permita acceder al conocimiento y análisis del bien a intervenir.

En el campo de la restauración arquitectónica la intervención es el momento de conocer los pormenores del edificio, su historia, transformaciones, las adaptaciones que han producido cambios a lo largo de su vida; así como el estado de conservación y de las alteraciones formales sufridas en sus estructuras y elementos constructivos.

A esto se refería Luis Cervera Vera en sus trabajos con el término *anatomía del edificio*¹, donde la toma de datos del edificio y su análisis crítico le permitía desmenuzar las etapas constructivas y los elementos que formaban parte de una arquitectura en cada momento, sintetizando el resultado en representaciones gráficas de las diferentes configuraciones formales, que recreaban una vuelta a atrás en el tiempo, eliminando los sucesivos añadidos en el transcurso de la vida del edificio.

En este proceso de toma de datos de la realidad construida el *levantamiento científico*² constituye el recurso inexcusable para llevar a buen término el proceso de intervención arquitectónica.

¹ A este respecto consultar: Cervera Vera, Luis. *Iglesia de Arcas (Cuenca)* Excma. Diputación de Cuenca. Cuenca, 1984.

² García Cuetos, M.ª del Pilar (2008), "Alejandro Ferrant y Manuel Gómez-Moreno: Aplicación del método científico del CEH a la restauración monumental" en *LOGGIA. Arquitectura & restauración*, Nº 21, p. 8-25

El término *levantamiento científico*, acuñado por el arquitecto Alejandro Ferrant Vázquez (1897-1976) y el historiador Manuel Gómez Moreno (1834-1918), se formuló desde su labor en el Centro de Estudios Históricos; estableciendo un método de trabajo que debía permitir registrar las decisiones y las actuaciones de los arquitectos en las intervenciones de restauración.

El método se estructura en tres pasos o procesos de acercamiento al conocimiento del edificio, que se resumen en:

1. Estudio del desarrollo de los acontecimientos históricos
2. Transformaciones arquitectónicas y urbanas sucedidas en el tiempo
3. Estudio de fuentes bibliográficas en archivos y bibliotecas

Una primera consecuencia de estos trabajos era la realización de redacciones gráficas del edificio (levantamiento arquitectónico) en el que se recogía y se sintetizaba la descripción formal de la arquitectura a intervenir. Ello suponía no solo un registro “notarial” del estado del edificio, sus patologías y su estado de conservación, sino también una herramienta sobre la que avanzar en la toma de decisiones y en la formalización de la intervención a efectuar.

De manera que el medio gráfico, el dibujo de las arquitecturas analizadas, constituía la herramienta perfecta con la que:

- Elaborar documentaciones gráficas inéditas
- Realizar la verificación de los datos existentes
- Proporcionar una herramienta de carácter analítico

A estos estudios se añadieron, posteriormente, los análisis de laboratorio sobre los tipos de materiales y su disposición en las estructuras arquitectónicas que forma parte de la construcción con la que se resuelve el edificio.

Hablamos pues del acercamiento al conocimiento del edificio a través del levantamiento arquitectónico, cuyo objeto es la redacción de documentaciones gráficas que incluyen tanto planimetrías (planta, alzados y secciones) como modelos y representaciones que permiten no solo el análisis constructivo, sino también la divulgación del edificio, el conocimiento de las características que le definen y los valores patrimoniales que posee. En este campo se desarrolla el trabajo del Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Valladolid.

Necesidad y práctica del levantamiento arquitectónico

No siempre la documentación tendrá una intención de intervención, la finalidad del levantamiento puede obedecer a diferentes motivaciones: catalogación, inventario, difusión, etc.; Evidentemente la finalidad del levantamiento influirá en la tecnología a aplicar en el levantamiento que, no obstante, siempre vendrá presidido por dos condiciones; la búsqueda de la objetividad (descripción ajustada a la realidad), y la búsqueda de la precisión dimensional (descripción formal realizada con rigor métrico).

El binomio objetividad-precisión ha supuesto a lo largo del proceso histórico del desarrollo metodológico del levantamiento arquitectónico la búsqueda de “aparatos”, máquinas, para captura de la realidad a través de la imagen, así como de artilugios con los que capturar con precisión medidas de la realidad construida³.

La pretendida objetividad que brinda la fotografía (no discrimina el registro de datos), hizo que desde los inicios de su aparición haya formado partes de los medios de “captura de datos” de la realidad. La asimilación de la fotografía con la perspectiva cónica hizo posible que, al revertir el proceso geométrico de construcción de la perspectiva cónica, se pudiera obtener datos geométricos para construir plantas y alzados desde imágenes fotográficas.

El pionero en la aplicación de esta técnica fue Aimé Laussedat (1819- 1907); sus trabajos resultan de especial valor y significación, no solo por ser el primero en obtener planos a partir de la restitución fotográfica, lo que le ha valido la consideración de padre de la fotogrametría, sino también por establecer con sus trabajos la importancia de la fotografía como recurso documental.

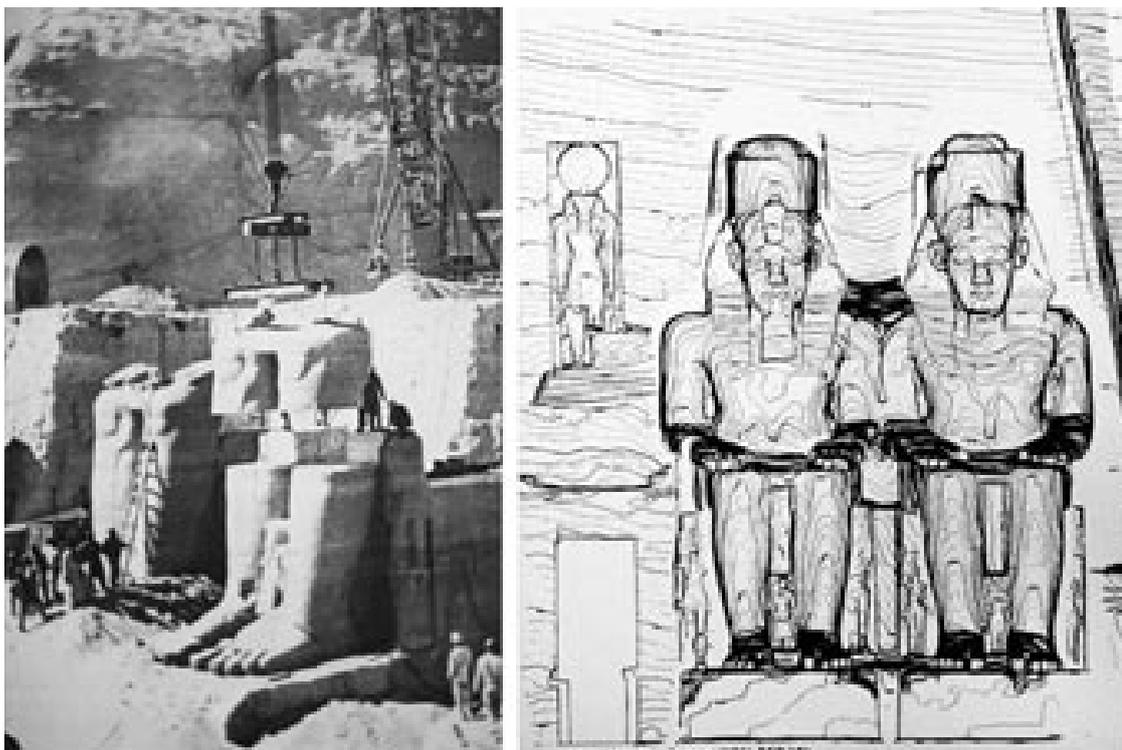
Este nuevo valor de la fotografía fue bien entendido por un arquitecto visionario, Albrecht Meydembahuer (1834-1921); quien no solo estableció el término *fotogrametría* para definir el recurso documental que permite la obtención de datos métricos a partir de la fotografía, si no que evidencia la importancia de la fotografía como registro documental. Fue él quien creó en 1845 el Instituto Prusiano de Fotogrametría, cuyo objetivo era el de documentar fotográficamente los edificios más relevantes por si fuera necesario obtener datos para su restauración.

Su trabajo resultó premonitorio, pues muchos edificios dañados durante la guerra pudieron ser restaurados gracias a los datos aportados por las fotografías métricas de gran formato (más de 11.000, de 1200 edificios de 44x44 cm de dimensión), recogidas hasta 1909, año en que deja el Instituto por jubilación.

Todos estos acontecimientos son el origen de la fotogrametría y a partir de este momento la evolución tecnológica y científica van a hacer que estas técnicas vayan evolucionando hasta desembocar en la generación de los modelos 3d resultantes, que rápidamente han mejorado su calidad.

Los avances en el estudio de la visión estereoscópica tendrán una rápida aplicación en el campo de la fotogrametría con la aparición de los restituidores analógicos, máquinas que incorporan un estereoscopio para reproducir (con dos imágenes tomadas del mismo objeto ligeramente separadas) la visión binocular. La orientación adecuada del par fotográfico obtenido, realizado con un solape del 80% de las imágenes, permite generar la visión de una imagen virtual tridimensional que puede ser recorrida mediante una marca flotante con la que recorrer los contornos del objeto representado, es decir: la restitución del objeto virtualmente recreado, capturando métricamente las aristas y líneas que definen sus formas. La limitación de la máquina es la salida gráfica, condicionada por el pantógrafo que limita el trazado da una representación plana. De manera que, en buena medida, se realizará una

³ A este respecto se puede consultar: Docci, Mario y Maestri, Diego. *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma 1994



Proceso de desmontaje de uno de los templos de Abu Simbel, junto a su representación cartográfica.

representación cartográfica, mediante curvas de nivel, para expresar la forma y volumen de los objetos representados⁴.

A este respecto resulta ejemplar el trabajo realizado con este tipo de restituidores (analógicos), en la misión de la UNESCO que llevó a cabo el traslado de los templos de Abu Simbel, en Egipto, para evitar que quedaran tapados por las aguas del Nilo tras la construcción de la presa de Asuan. Este colosal trabajo puede ser consultado en diferentes páginas de internet que recogen el proceso de desmontaje y disposición de los templos en la nueva ubicación.

Experiencias en el laboratorio de fotogrametría de la UVa

Restitución analítica

El desarrollo de los restituidores y de las técnicas informáticas dio pie a los restituidores analíticos, en los que la salida gráfica se contemplaba tridimensionalmente en la pantalla del ordenador. Ello permitía una restitución línea a línea, que proporcionaba un modelo

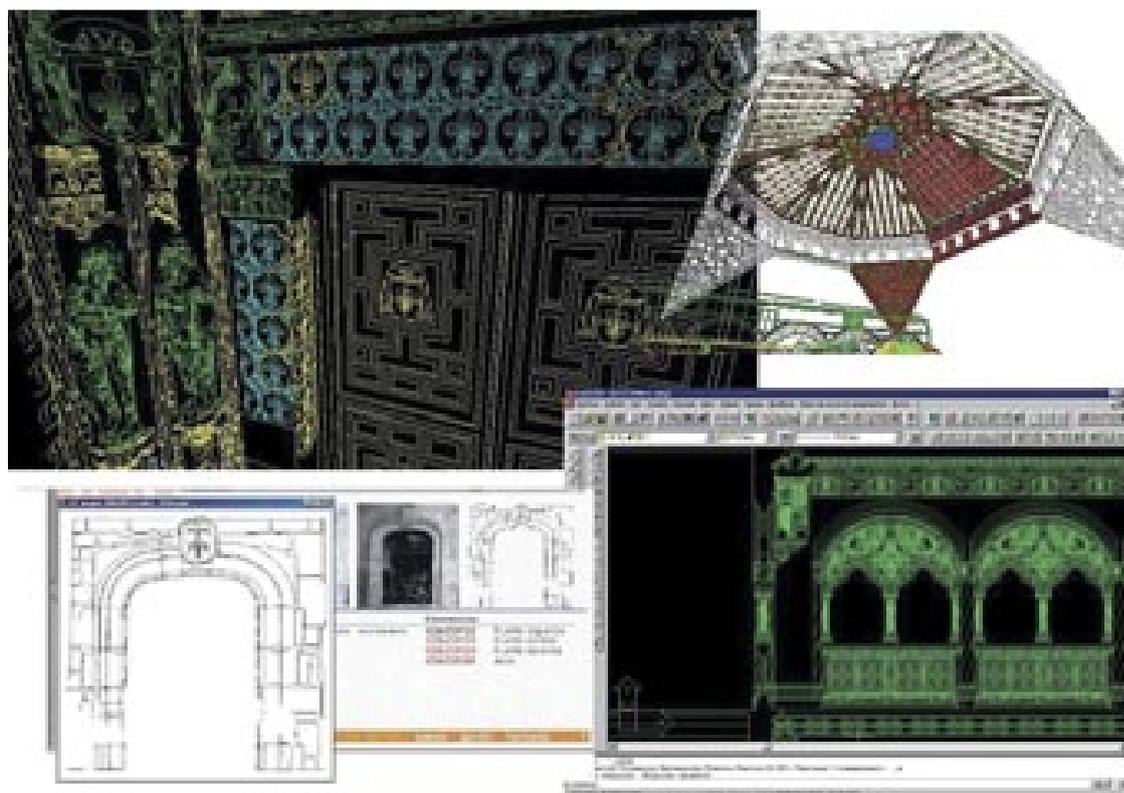
⁴ A este respecto consultar: Gentil, José María. *Método y aplicación de representación acotada y del terreno*. Madrid, 1998

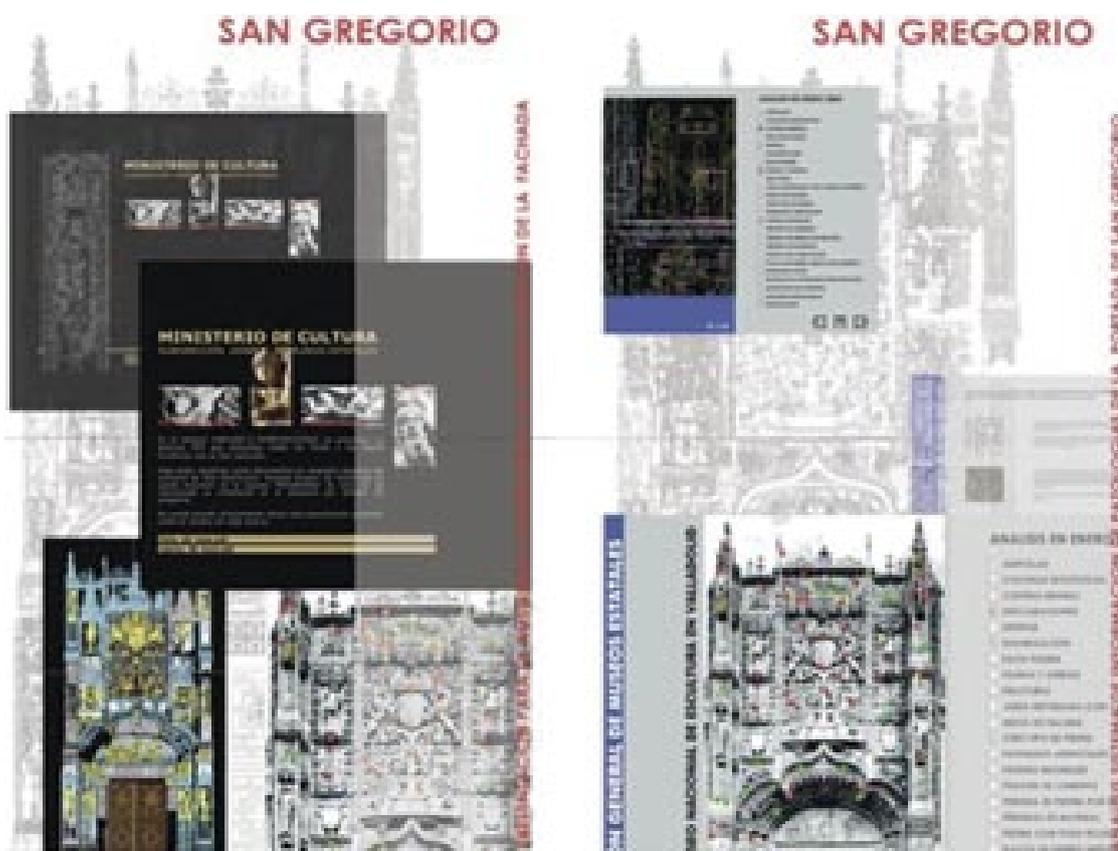
alámbrico, cuya visualización variaba dependiendo del punto de vista desde la que se realizaba el modelo, pudiendo llegar a generar una imagen de difícil comprensión, dada la superposición de líneas, lo que limitaba su utilidad como modelo tridimensional. Es en este momento cuando podemos empezar a hablar de la aparición de los modelos 3d alámbricos. Trabajos como los realizados por el Laboratorio de Fotogrametría con estos restituidores, son buena muestra de los resultados a que daba lugar la restitución analítica y la utilidad del modelo alámbrico.

A este respecto, resulta ilustrativo el trabajo de documentación realizado sobre el Museo de San Gregorio, para el Ministerio de Cultura, donde el uso de la fotogrametría estereoscópica analítica (procesada con ordenador) permitió generar modelos alámbricos tridimensionales desde los que elaborar documentaciones planimétricas que, junto a capturas fotográficas, permitieron la concreción de una herramienta de consulta WEB con la que conocer la forma y estado de conservación de los elementos arquitectónicos que integraban el edificio. De igual manera, la restitución planimétrica de la fachada principal, constituyó la base de un sistema de registro de los deterioros existentes en sus diferentes estructuras y ornamentación pétreo, como punto de partida para establecer las intervenciones que, posteriormente, fueron registradas en el mismo soporte gráfico.

En la documentación del Palacio Real, para la elaboración del Plan Director, a la elaboración de alzados exteriores e interiores, las posibilidades de procesado de imágenes que

Modelos alámbricos y representaciones gráficas y planimétricas de elementos arquitectónicos del Museo Nacional de Escultura.





Base gráfica de registro de los deterioros y las intervenciones sobre la fachada del MNE.

permitían en ese momento los programas de ordenador, permitieron la elaboración del plano semiautomático del pavimento del patio, con la limitación de ser una imagen ráster que simulaba una representación vectorial, es decir compuesta de entidades cuantificables métricamente⁵.

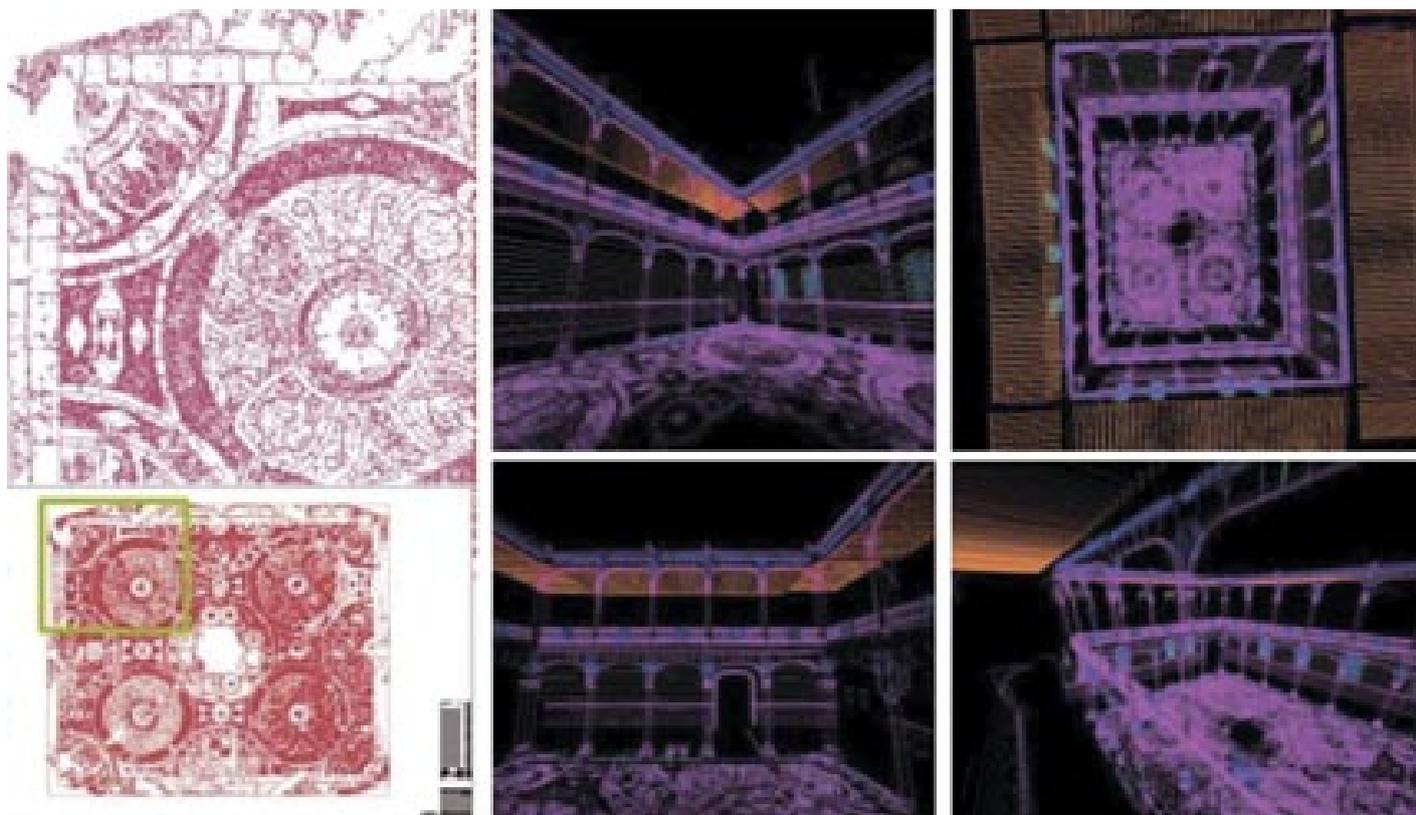
Escáneres tridimensionales

La rápida evolución de la digitalización hizo posible trabajos como el realizado en el Museo de San Gregorio, proporcionando desde la restitución fotogramétrica analítica a la elaboración de documentos con precisión métrica de consulta del estado y características del edificio. Pero también una base para, en el caso de la fachada, recoger tanto sus deterioros y alteraciones como los tratamientos e intervenciones aplicados para su restauración.

Como se ha señalado, junto a la cámara fotográfica para capturar imágenes que sustituyan a la realidad, el desarrollo de máquinas para medir ha sido otra constante en los procesos de levantamiento arquitectónico. Recursos que van desde el método de la plancheta⁶ o el

⁵ Fernández, Juan José y San José, Jesús. *Fotogrametría aplicada a la arquitectura*, Valladolid, 1998

⁶ Ver Op. Cit. Docci, Mario y Maestri, Diego. 1994



Modelo alámbrico (vectorial) del patio del Palacio Real incorporando la imagen (ráster) tratada del pavimento.

que recoge Cosimo Bartoli para capturar, de forma indirecta, medidas en altura con una adecuada precisión. Desarrollos técnicos que, en último término, han desembocado en los actuales escáneres 3D, cuya potencia en la captura de datos métricos desbancó, en un principio, a la fotografía como recurso en la documentación arquitectónica.

Un escáner láser tridimensional se basa en la tecnología lidar, del acrónimo del inglés LiDAR⁷ (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging* / *Detección y rango de luz* o *Detección y rango de imágenes láser*), es un dispositivo que permite determinar la distancia de un objeto o superficie hasta el emisor mediante un haz de impulsos láser⁸, y combinado con la cámara fotográfica que incorporan (en los primeros escáner era un elemento externo) también consiguen capturar la información de rango visible (color). Estos dispositivos han ido evolucionando tanto desde el punto de vista formal como funcional, ya que al principio eran aparatos de grandes dimensiones con un peso importante pero no excesivo, que además exigían para su funcionamiento la necesidad de muchos elementos auxiliares (baterías externas, cables, ordenadores, cámaras fotográficas, etc.). A día

⁷ Término usado frecuentemente para referirse a escaneados láser aerotransportados pero que también se aplica a algunos sistemas terrestres.

⁸ Láser (acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), es un haz intenso de luz que produce imágenes con impulsos electrónicos.

de hoy son más pequeños, ligeros, rápidos y son capaces de capturar un mayor número de puntos por segundo.

Al mismo tiempo, están incorporando sistemas de múltiples cámaras en todo el perímetro de la carcasa del escáner que permiten capturar el color con imágenes HDR en menor tiempo; y además durante el desplazamiento entre estacionamientos estas cámaras realizan un traqueo continuo durante el proceso de la toma de datos que le permite hacer un pre-registro automático de los escaneos.

Son dispositivos que en su interior contienen amplia tecnología de medición, posicionamiento, sistemas inerciales, etc.

La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y la recepción del mismo a través de la señal reflejada. Con la medición que realiza sobre el objeto o superficie es capaz de capturar la geometría y color con una precisión milimétrica. Para ello, realiza un barrido láser del edificio u objeto que estamos estudiando obteniendo una nube de puntos (*point cloud*) métrica de la geometría. Esta nube de puntos⁹ está en bruto, es decir, la captura de datos no es selectiva, sino que es una recopilación de datos masiva en la que no discrimina ninguno de los puntos. Captura la información de todo lo que se encuentre en el entorno del dispositivo. Esta clasificación o selección de puntos es algo que tendrá que hacer el técnico posteriormente al evaluar los datos y realizar el registro o alineación entre los diferentes escaneos.

En definitiva, el escáner láser presenta un gran potencial permitiendo registrar todos los objetos o superficies que rodean al dispositivo en un radio limitado en cuestión de minutos y sin necesidad de contacto con los objetos medidos.

Los datos obtenidos del escáner son una colección de puntos orientados con referencia a un sistema centrado en el origen de coordenadas del escáner, información a la que eventualmente se añade también el color del objeto, o incluso algunos otros datos relacionados con sus aspectos físicos.

La documentación obtenida por el escáner proporciona la generación de modelos tridimensionales de nube de puntos a escala real del edificio objeto del levantamiento que, tras su posterior procesado, nos llevará a generar una documentación suficiente para la evaluación del edificio.

Los escáneres láser por su forma de posicionamiento a la hora de realizar los escaneos se pueden dividir en dos categorías: estáticos y dinámicos.

Estáticos es cuando el escáner se mantiene en una posición fija durante la toma de datos. Es el método más utilizado a la hora de realizar escaneados terrestres, sin embargo, no todos los escaneados láser terrestres son estáticos. La ventaja de este método es su alta precisión. **Dinámicos**, es cuando el escáner se monta sobre una plataforma móvil. Como puede ser un vehículo, tren, barco, avión, plataformas aéreas no tripuladas o mochilas personales. A estos sistemas también se les conoce con el nombre de Mobile Mapping o mapeo móvil. Debido a que el dispositivo está en constante movimiento estos sistemas requieren de otros

⁹ Conjunto de coordenadas XYZ en un sistema de coordenadas tridimensional. También puede incluir información adicional, como los valores de color y de reflectividad.

dispositivos de posicionamiento adicionales como son los Sistemas de Navegación Inercial (INS)¹⁰ o Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)¹¹, lo que hace que el sistema completo sea más caro y complejo.

Las ventajas más importantes de la utilización de un escáner láser en proyectos de levantamiento y documentación son:

Medidas. Con el escaneo se evitan replanteos y dudas, ya que de una sola vez se mide todo y obtenemos un modelo 3d muy preciso y fiel a la realidad. Gracias a esto se convierte en una herramienta muy potente para detectar irregularidades en la geometría, deformaciones, etc. (Vacca et al., 2016)

Seguridad. Debido a su forma de funcionar y a que permite tomar datos a cierta distancia nos permite tomar mediciones completas y rápidas de espacios peligrosos o ubicaciones de difícil acceso sin poner en riesgo la vida del operador del escáner. (Marcos et al., 2016)

No es intrusivo (García Fernández et al., 2013). Para la toma de datos no es necesario realizar paradas de operarios ni de las obras, ni se interfiere en los tiempos de la obra. Además, como es un dispositivo que trabaja a distancia no es necesario meterse dentro de un espacio siempre que sea posible hacerlo a cierta distancia. Un ejemplo de esto podría ser una excavación arqueológica, en la cual podremos realizar mediciones desde el perímetro sin tener que entrar dentro de las catas arqueológicas.

Proyecto en la oficina. Al obtener un modelo completo del objeto/edificio con toda la geometría fiel a la realidad, podemos consultar el modelo y extraer cualquier información o medida en cualquier momento.

Generación de modelado BIM o planimetrías más rápidas. Al realizar escaneos se lleva toda la información de la realidad a un modelo 3d a partir del cual se puede modelar el estado actual del objeto (Campi et al., 2017; Pepe et al., 2021).

La utilidad del escáner como máquina de tomar medidas con precisión de manera integral, se manifestó en trabajos como el realizado en el Monasterio Jerónimo de Santa María de la Armedilla, en Cogeces del Monte. El trabajo, realizado con un escáner de posición, modelo Ilris 3D de Optech, llevó a la generación de una nube de puntos, como suma de coordenadas tridimensionales XYZ; cuya densidad la dotaba de valor de modelo virtual tridimensional con el que sustituir a la realidad como fuente de consultas métricas, y base de la generación de documentaciones gráficas, gracias a los recursos que proporcionaban los programas informáticos.

Una vez generada la “nube de puntos” los datos métricos y formales no se obtienen del edificio si no del modelo virtual, que se convierte en una maqueta a escala 1:1 del edificio, la cual ahora aporta la información necesaria para nuestras representaciones y estudios del edificio.

¹⁰ Instrumento auxiliar para la navegación que utiliza un ordenador y sensores de movimiento (acelerómetros y giróscopos) para controlar continuamente la posición, la orientación y la velocidad de un objeto sin la necesidad de referencias externas.

¹¹ Es un sistema de posicionamiento por satélite norteamericano utilizado para posicionar aeronaves durante un levantamiento aéreo, también usado como técnica para efectuar levantamientos sobre el terreno. Rusia y Europa están trabajando en sistemas similares llamados GLONASS y GALILEO, respectivamente.



Modelo integral en nube de puntos, con información cromática.

La precisión de los datos obtenidos con el escáner permite el estudio de las alteraciones dimensionales producidas por cambios en el comportamiento estructural o por deterioros de elementos constructivos.

En la iglesia de Santiago Apóstol en la localidad burgalesa de Villamorón, la generación de un modelo virtual completo del templo, en “nube de puntos”, unido a las posibilidades de procesamiento informático, permitió la confección de familias de secciones, tanto longitudinales como transversales al eje de la nave mayor del templo. Con ellas se hizo posible apreciar las deformaciones sufridas en las estructuras de sus muros y pilares, y cuantificar métricamente la entidad de los agrietamientos, así como de los desplomes que presentaban las fábricas.

El análisis formal y métrico de estas discrepancias, respecto a la verticalidad de los elementos estudiados, permitió conocer el fundamento de las patologías (agrietamientos y deslizamientos) que el edificio presentaba, dirigiendo a los arquitectos en las soluciones adoptadas para consolidar el edificio y garantizar su permanencia en el tiempo.

Desde entonces, y en un lapsus temporal no muy largo, los escáneres no han hecho sino mejorar sus prestaciones. No solo la recogida de datos es más rápida, pues realizan capturas esféricas con su giro de 360º, si no que la densidad de las nubes capturadas es mucho mayor, a la vez haberse producido una mejora sustancial en la calidad de las imágenes de la cámara asociada al escáner, lo que permite “teñir”, con un color más natural las nubes de puntos. En el procesado de las nubes se establece la asignación de la información de su color a cada punto capturado, asignándole un pixel de la imagen fotográfica. El resultado producido es la generación de un modelo virtual muy robusto de total precisión métrica y de ajustado cromatismo a la realidad de las coloraciones y texturas del edificio.

La utilización del escáner láser como herramienta de digitalización para la creación de modelos tridimensionales tiene una serie de características muy ventajosas frente a otros métodos de documentación:

Son herramientas que no resultan invasivas, ya que son técnicas no destructivas.

La captura de datos se realiza a distancia, ya que se basa en sistemas ópticos que no necesitan estar en contacto directo con el objeto.



Iglesia de Santiago Apóstol, Villamorón (Burgos). Estudio de las deformaciones estructurales.

Los datos resultan precisos en la definición métrica, ya que los modelos resultantes son copias exactas geométricamente del objeto original.

Tienen una gran resolución en la definición gráfica, ya que son modelos con un gran detalle.

El intercambio de los datos y resultados son fácilmente transmisibles entre diferentes agentes gracias a que son digitales.

Estos modelos digitales son réplicas exactas de los objetos originales, que contienen toda la información geométrica y de color que sea visible. Las partes internas de muros o que se encuentren ocultas no podrán ser documentadas, para ello sería necesario la utilización de otro tipo de equipos como georradars, rayos X, etc. para completar el proceso de documentación.

Estos modelos 3D van a permitir extraer nuevos tipos de documentación además de la documentación planimetría general como son plantas alzados y secciones.

Mapas temáticos. Como puede ser un mapa de daños sobre fachadas en el que se muestra en todas las patologías, grietas, deterioros y desperfectos.

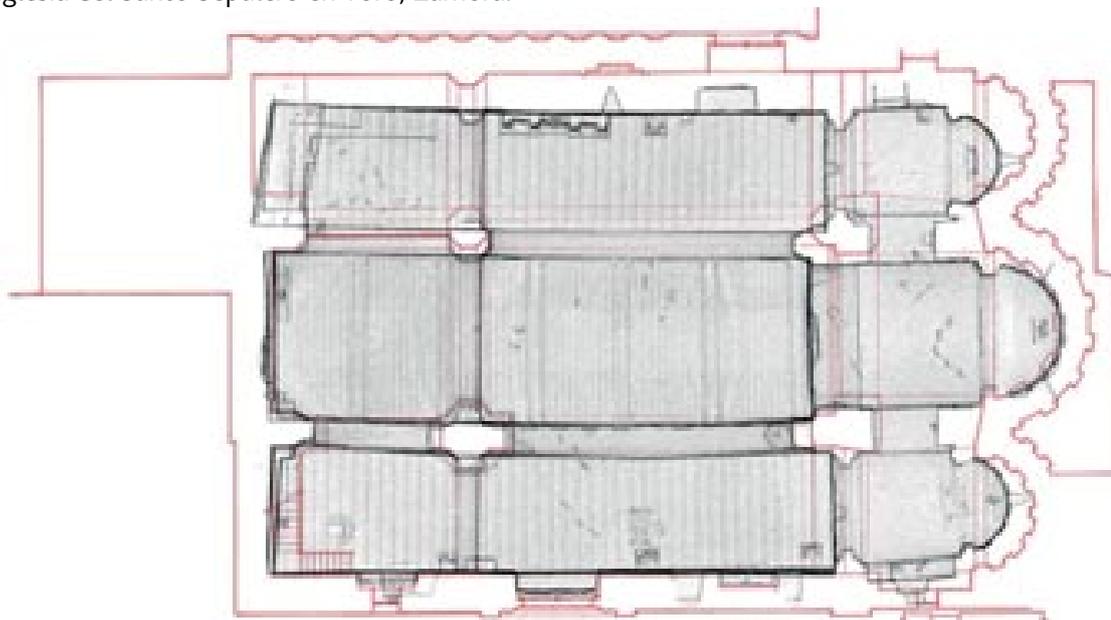
Cuantificación métrica. Al tratarse de réplicas exactas del edificio u objeto original documentado, podremos medir cualquier elemento en cualquier momento.

Verificación del dato. Estos modelos reflejan con gran precisión la geometría real del objeto, permitiendo verificar y comprobar la veracidad de documentación anterior a la toma de datos con estas herramientas. Un ejemplo de esto es la comprobación de la geometría de la planta de un edificio.

Análisis constructivos. La gran precisión geométrica y de color del modelo 3d permite estudiar los despieces de piedra o los diferentes elementos constructivos permitiendo analizar las diferentes fases constructivas del edificio.

Análisis estructurales, de todos los elementos que aparezcan en el modelo pudiendo estudiar sus dimensiones, deformaciones, etc.

Verificación del dato. Superposición del plano y del levantamiento con escáner láser 3D de la iglesia del Santo Sepulcro en Toro, Zamora.



Fotogrametría digital

Otra de las herramientas de digitalización es la creación de modelos 3d a partir de colecciones de fotografías. Estos modelos sólidos van a mejorar el nivel de detalle respecto a los modelos de nubes de puntos obtenidos con el escáner láser.

Los avances informáticos han propiciado la vuelta a la fotogrametría, a la utilización de fotografías como generación de un modelo virtual. Si bien ahora no hablamos de pares estereoscópicos, sino de “mosaico” fotográfico, de un conjunto de un gran número de imágenes fotográficas que, tomadas en determinadas condiciones y posicionamiento, permiten la generación de un modelo tridimensional con gran resolución fotográfica.

Todos estos problemas se han ido solucionando mediante el uso de los procesos informáticos. El hecho de no tener que revelar las fotografías sobre un soporte físico elimina en cierto grado las deformaciones, de manera que solamente es necesaria la calibración de las deformaciones propias del objetivo de la cámara.

La inclusión de los procesos informatizados en la restitución por medio de filtros o reconocimiento de contornos, ha facilitado en gran medida el trabajo; de forma que el tiempo de computación ha sustituido al proceso analítico y, una vez logrado este objetivo, era cuestión de tiempo que ya no fuera necesario el uso de unas condiciones tan estrictas en la toma de datos.

A pesar de esto, para que este tipo de programas de reconstrucción 3d sean capaces de alinear entre si todas las fotografías y generar unos datos sin errores es necesario cumplir una serie de condiciones en las fotografías:

Las posiciones de las fotografías tienen que ser diferentes. Si alguna coincide en la misma posición introducirá errores en el modelo y puntos de ruido.

Es recomendable que todas las colecciones de fotografías tienen que realizarse con la misma orientación, paisaje (horizontal) o retrato (vertical).

Utilizar la misma focal para toda una colección de fotografías.

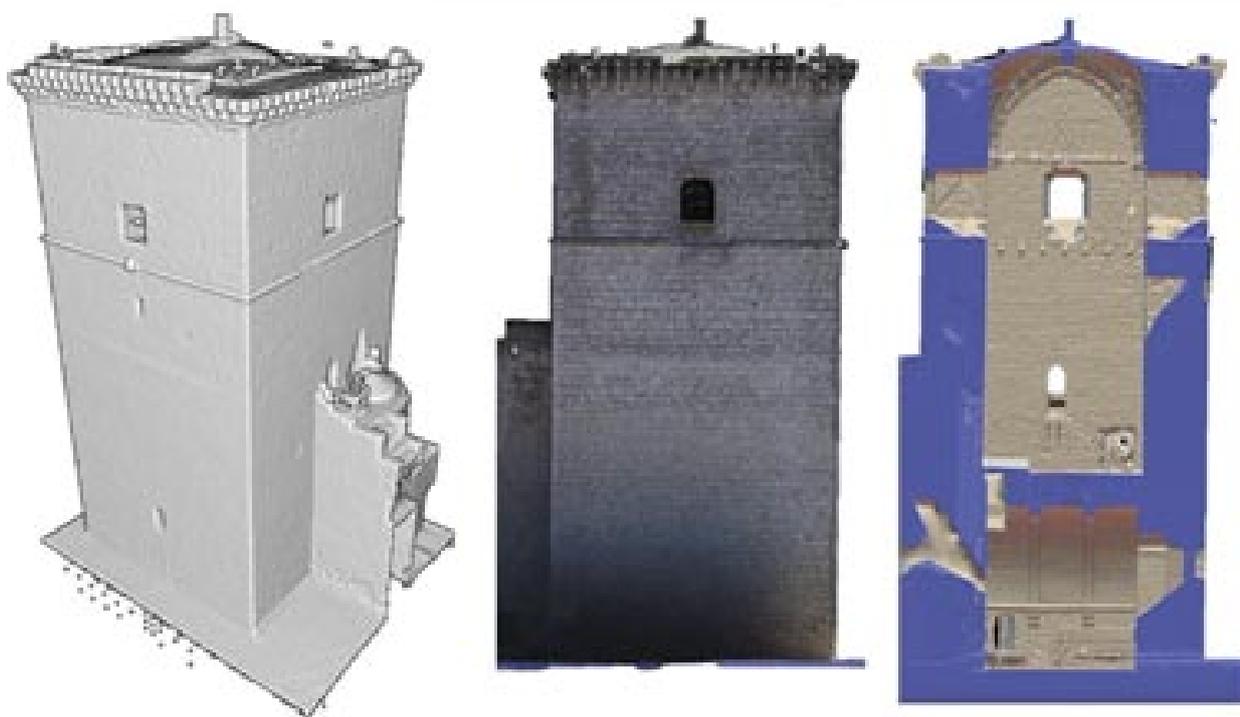
Todas las fotografías tienen que estar bien expuestas, sin áreas muy oscuras ni muy quemadas ya que en esas zonas el software no será capaz de reconocer puntos.

Las fotografías tienen que estar bien enfocadas. Una fotografía borrosa introduce errores en los cálculos.

El proceso de reconstrucción de estos programas es similar, lo que difiere entre ellos son los algoritmos de cálculo, lo que hace que unos sean más rápidos que otros en la generación de los modelos tridimensionales.

El primer paso una vez cargadas las imágenes en el programa es calcular los puntos de orientación entre las fotografías. Es muy similar al proceso que se realizaba en los restituidores analógicos, en el que se busca la orientación externa o posición de las cámaras. Además, en este paso se calculan los datos de calibración del objetivo de la cámara. El resultado es una nube de puntos dispersa o nube de orientación.

El segundo paso es el cálculo de la reconstrucción geométrica tridimensional del objeto. Este es un proceso muy largo, ya que el software utiliza algoritmos para calcular cada uno de los puntos que define nuestro objeto. Lo que hace es analizar e ir emparejando, por pares,



Vista del alzado ortofotográfico y sección del modelo de la torre del castillo de Portillo.

todas las fotografías y va calculando mediante mapas de profundidad todos los puntos. El resultado es una nube densa de puntos.

El siguiente paso sería la transformación de la nube de puntos densa en una malla de triángulos con un coloreado por vértice a partir de los píxeles de las fotografías utilizadas en la reconstrucción. A continuación, se realizaría el mapeado o texturizado de la malla a partir de las fotografías.

El resultado que se obtiene con el procesado de estas colecciones de fotografías convergentes es una malla tridimensional mapeada a partir de las fotografías. Estas mallas nos permiten obtener vistas completamente ortogonales del edificio objeto del levantamiento; facilitando al técnico una base de dibujo métrica y de calidad.

Estos procesos pueden completarse por medio de apoyos topográficos, geolocalización de los componentes del levantamiento, o la adición de procesos paralelos de levantamiento que completan el modelo, ya sea tridimensional o la documentación bidimensional a generar.

La utilidad de disponer de un modelo integral del edificio no solo permite la elaboración de planimetrías de manera semi-automática, proporcionadas por las orto proyecciones fotográficas de las fachadas del edificio, sino también el estudio de las deformaciones, alteraciones y geometría de la arquitectura que sustituye el modelo.

En la torre del homenaje del castillo de Portillo, en la provincia de Valladolid, las secciones del modelo virtual permitieron conocer con detalle, junto a otros datos geométrico-formales, los espesores y forma de la bóveda que cubre la torre, contribuyendo a facilitar el análisis que llevó a la definición de la cubierta recientemente montada sobre la torre.



Proceso de la generación de modelos mediante fotogrametría digital para una de las Arcas Reales.

El gran desarrollo que se ha producido en la fotogrametría, en la nueva fotogrametría digital, ha dado lugar a la aparición de diferentes programas de elaboración de modelos a partir del registro de una colección de fotografías que recubran la totalidad del volumen del edificio, pero también de su interior.

En todas ellas el problema a resolver es, por una parte, la de garantizar el adecuado solape entre las fotografías realizadas. Por otro recoger la totalidad de las superficies que definen la arquitectura del edificio. Aquí, el problema que se plantea es el de conseguir fotografiar aquello que queda por encima de nuestra visión, lo que no es accesible a nuestra cámara.

El recurso de los drones

En un principio estos modelos fotogramétricos solo se podían realizar a cota suelo o un poco elevado utilizando costosos medios auxiliares, es lo que se conoce como fotogrametría terrestre. Pero la aparición de nuevos artilugios como fueron los globos aerostáticos o cautivos permitió tomar fotografías desde nuevos puntos de vista más elevados facilitando conseguir documentar partes hasta ese momento bastante inaccesibles, consiguiendo así obtener modelos 3d con una cobertura de casi el 100% de los edificios documentados. Solo existía un inconveniente en este tipo de sistemas y es que eran incontrolables, ya que el viento era el que determinaba el movimiento y dirección del globo haciendo que el operador no pudiera realizar las fotografías desde posiciones concretas. Por este motivo la distribución de la captura de imágenes no seguía un patrón homogéneo.

Este problema está hoy resuelto, de manera fácil y económicamente asequible, con la utilización de cámaras fotográficas colocadas en drones, sistemas más estables y controlables, permitiendo realizar una distribución de captura de imágenes más precisa y homogénea. Las

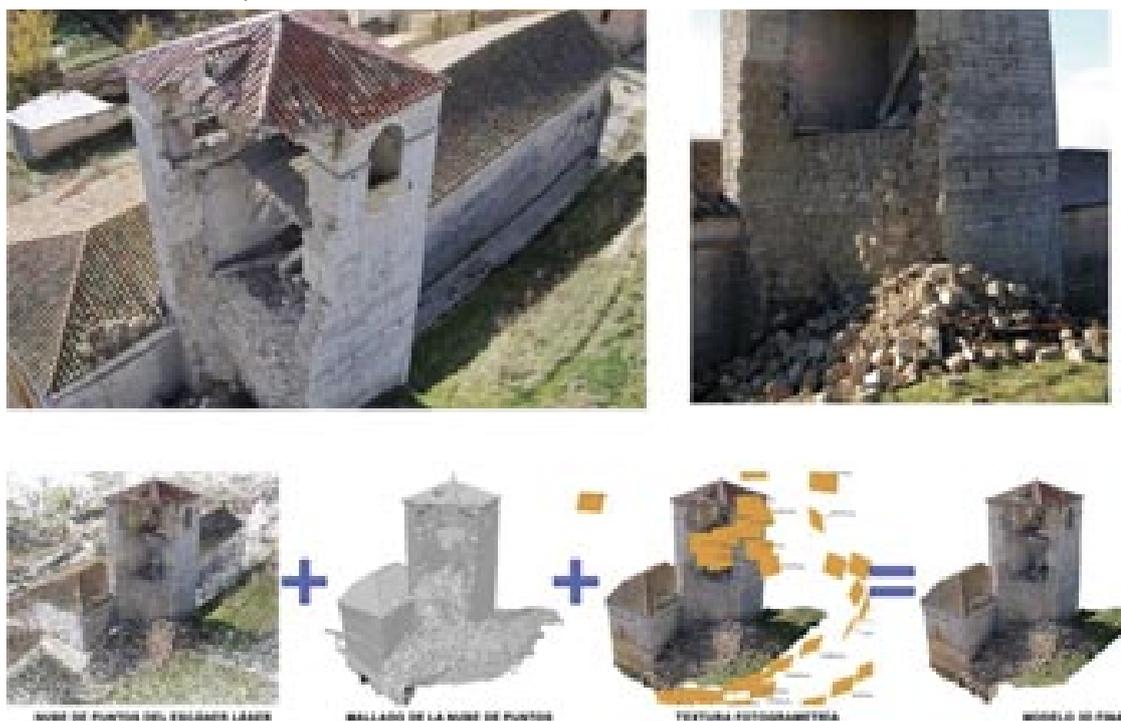


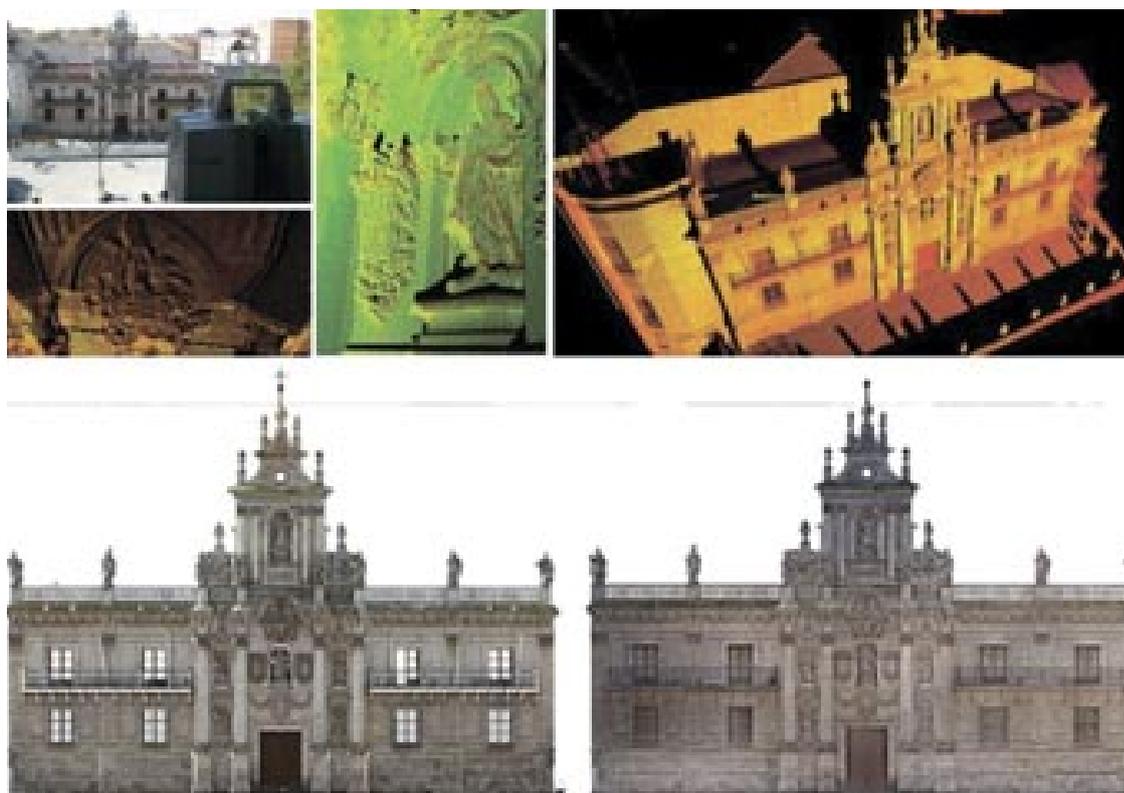
Captura de imágenes fotográficas mediante dron y elevación en altura, en la fachada de la Universidad de Valladolid.

visiones insólitas que la cámara del dron proporciona hace posible la disposición de colecciones fotográficas completas del edificio y, con ello, la elaboración de modelos integrales sólidos de alta precisión y definición.

La puesta en escala de este modelo se realiza introduciendo el valor de alguna de sus dimensiones o bien, si lo que se persigue es un modelo de gran precisión métrica y gran resolución gráfica, “fundiendo” mediante superposición ambos modelos: el modelo métrico obtenido con el escáner y el modelo fotográfico obtenido por fotogrametría.

Proceso de generación del modelo de trabajo con gran precisión métrica y definición gráfica en la torre de Vadespina, Palencia.





Proceso de escaneado de la fachada y comparación de los resultados obtenidos con ambos recursos.

Un buen ejemplo de la idoneidad de esta metodología de trabajo, que recurre a la combinación dos modelos (el del escáner 3D y del fotogramétrico) es el proceso y definición de documentación realizada sobre la Fachada de la Universidad de Valladolid, dentro del transcurso de la intervención propuesta para su restauración.

En el proceso de captura de datos las “sombras” producidas en el modelo en nube de puntos generado por el escáner 3D, es decir aquellas superficies que no pudieron ser recogidas por el escáner al quedar ocultas a sus rayos láser, pudieron ser completadas por el modelo generado por fotogrametría. Bien es cierto que la realización de una colección de fotos que garantizara un recubrimiento integral de las superficies, supuso una minuciosa preparación y un posterior laborioso proceso de captura del mosaico fotográfico. La comparación de los dos modelos elaborados (del modelo de nube de puntos del escáner 3D y del modelo fotográfico) permite evaluar la ventaja de la utilización conjunta de ambos.

Una dimensión no arquitectónica permite entender la utilidad de los recursos fotogramétricos como herramienta de redactar documentaciones preventivas. Es este el caso el escaneo 3D, con un escáner de corto alcance, de proximidad, y la fotogrametría de la escultura de Nuestro Padre Jesús Nazareno, propiedad de la cofradía Vallisoletana del mismo nombre.

La precisión métrica y cromática del modelo generado fue de tal magnitud que permitiría la reproducción de la imagen o de algunas de sus partes ante un eventual deterioro, pero también constituye una herramienta de control del estado de la escultura y de sus cambios o alteraciones en el tiempo.



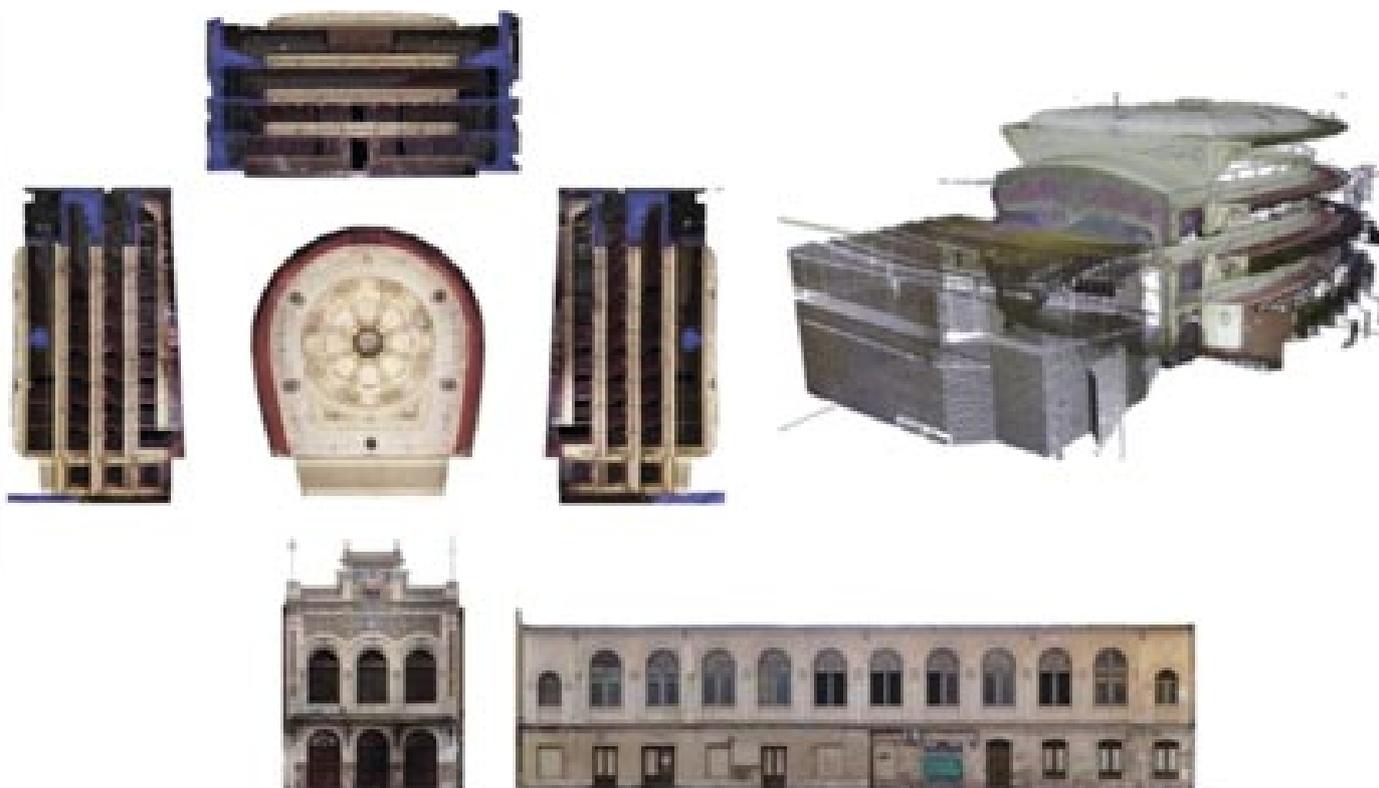
Proceso de toma de datos y modelo de la escultura de Nuestro Padre Jesús Nazareno.

Documentación base del conocimiento, la intervención y la difusión del Bien Cultural

En definitiva, los modelos digitales obtenidos con estas herramientas de documentación son de especial relevancia a día de hoy para saber el estado real del edificio en el momento en el que se realiza la toma de datos, siendo el fin fundamental de estos, la documentación. Pero la fotogrametría y los modelos digitales en muchas ocasiones no sólo se utilizan como herramientas de documentación sino con otros fines.

Por ejemplo, como herramienta de emergencia en situaciones extremas en las que el edificio u objeto de estudio puede colapsar debido a algún fallo estructural, accidente, causas meteorológicas o fuerzas naturales. Este fue el caso de la digitalización de la torre de la iglesia de Valdespina (Palencia), en la que en el año 2012 debido a un fallo estructural la mitad se derrumbó quedando muy afectada la otra mitad con alto riesgo de colapso total. Con el escáner láser y el uso de un dron se pudo realizar la documentación de la parte que quedaba en pie y los restos a una distancia segura, permitiendo obtener un modelo del estado actual en ese momento, el cual permitió comprobar la situación de desplome de la torre, valorar los riesgos o plantear una simulación que permitiera volver a ver la torre completa, aunque fuera de forma digital.

Como herramienta de intervención, en la que los modelos digitales son necesarios para generar toda la documentación necesaria para poder redactar el proyecto arquitectónico cara a su rehabilitación (plantas, alzados, secciones, lecturas de paramentos, etc.). Algunos ejemplos realizados con este fin son la portada de la iglesia de San Juan de Letrán de Valladolid, la fachada histórica de la Universidad de Valladolid o el teatro Lope de Vega de Valladolid.



Digitalización del interior y exterior del teatro Lope de Vega de Valladolid.

Como herramienta preventiva o de copia de seguridad, para tener un modelo exacto del objeto real y así poder generar una réplica en caso de catástrofe, o bien para sustituir al original para asegurar su conservación. Ejemplos de esto es la digitalización de la escultura de Nuestro Padre Jesús Nazareno, propiedad de la cofradía Vallisoletana del mismo nombre mencionada anteriormente en este texto.

Como herramienta de hipótesis. En estos casos se crea el modelo digital con la intención de poder elaborar sobre él una hipótesis de estados anteriores del objeto.

Hipótesis de la restauración virtual de las pinturas murales de la capilla funeraria de Sancho Sánchez en la ermita de San Andrés de Mahamud, Burgos.





Ejemplos de algunos de los edificios documentados en la provincia de Valladolid durante los últimos años.

Como herramienta de difusión. A día de hoy esta es una de las más importantes, ya que es la que facilita el dar a conocer a los ciudadanos estos bienes y ponerlos en valor. Hasta muy recientemente los modelos digitales solo se utilizaban para generar documentación técnica a la que accedían personas especializadas en el tema, pero gracias a los avances tecnológicos y el desarrollo de la visualización web, estos modelos pueden ser accesibles al público general desde cualquier dispositivo y en cualquier parte del mundo. Además, los nuevos sistemas de visualización de realidad virtual (VR) o realidad aumentada (AR) permite tener experiencias más inmersivas pudiendo navegar por estos modelos como si realmente nos encontráramos visitando el edificio en su ubicación real.

El objetivo del Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica de la Universidad de Valladolid es continuar utilizando e investigando en la evolución de todas estas herramientas y seguir avanzando con este proceso de digitalización del patrimonio de la comunidad y provincia para promover su puesta en valor y difusión.

BIBLIOGRAFÍA

- CERVERA VERA, L. *Iglesia de Arcas (Cuenca)*. Excm. Diputación de Cuenca. Cuenca 1984.
- CAMPI, M., DI LUGGO, A., & SCANDURRA, S. (2017). 3d modeling for the knowledge of architectural heritage and virtual reconstruction of its historical memory. ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W3, 133–139. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-133-2017>.
- DOCCI, MARIO Y MAESTRI, D. *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma 1994.
- FERNÁNDEZ, J. J. y SAN JOSÉ, J. *Fotogrametría aplicada a la arquitectura*, Valladolid, 1998.
- GARCÍA CUETOS, M^o del P. “Alejandro Ferrant y Manuel Gómez-Moreno: “Aplicación del método científico del CEH a la restauración monumental” en *LOGGIA. Arquitectura & restauración*, N^o 21, 2008, p. 8-25.
- GARCIA FERNANDEZ, J., SOCCI, L., & FERNANDEZ, J., Methodology of efficient assessment of structural deformation from non-intrusive techniques for civil heritage conservation, 2013.
- GENTIL, J. M. *Método y aplicación de representación acotada y del terreno*. Madrid, 1998.
- PEPE, M., DOMENICA, C., ALFIO, V., RESTUCCIA, A., & PAPALINO, N. (2021). Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006>.
- VACCA, G., MISTRETTA, F., STOCHINO, F., & DESSI, A. Terrestrial laser scanner for monitoring the deformations and the damages of buildings. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B5, 453–460. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-453-2016>